1) Si realizzi il gate FCMOS che implementa la funzione logica O=(A'+B'+C')(B'+C)D (si sviluppino eventuali calcoli mantenendo una realizzazione a 6 transistori per PU e per PD)
2) Si identifichi la configurazione di caso peggiore sia per il PU che per il PD, indicando i pattern di transizione OFF-ON.
3) Si dimensionino Sn e Sp per garantire un tempo di transizione sia in salita che in discesa inferiore o uguale a 500psec, considerando come carico un inverter bilanciato a valle dell'uscita O con Sn_{INV}=20.
4) Si identifichi la configurazione di caso migliore per PU e PD. Considerando lo stesso dimensionamento ottenuto al punto 2 per il gate FCMOS, di quanto migliora in questo caso il tempo di transizione (in salita e in discesa)?
5) Considerando il caso peggiore per il gate FCMOS, in quanto tempo un transitorio di salita in O porta sulla soglia dell'accensione il PD dell'inverter? Si consideri il transitorio al 90% .

PARAMETRI TECNOLOGICI (V_{dd} = 3.3 V)

	N-channel	**P-channel**
V_{T0}	0,7 V	-0,7V
β'	100μA/V^2	50μA/V^2
C_{ox}	3,45 fF/ μm^2	3,45 fF/ μm^2
Lmin	0,35 μm	0,35 μm
λ,γ	0	0
R_{eq_rif}(V_{gs}=|V_{dd}|, **90%**, S_{rif}=1)	5,39 KΩ	10,78 KΩ
R_{eq_rif}(V_{gd}=0, **90%**, S_{rif}=1)	30,10 KΩ	60,20 KΩ

1) $OUT = (\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}) \cdot (\bar{B} + C) \cdot D$

$$OUT = \overline{\overline{(\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}) \cdot (\bar{B} + C) \cdot D}}$$

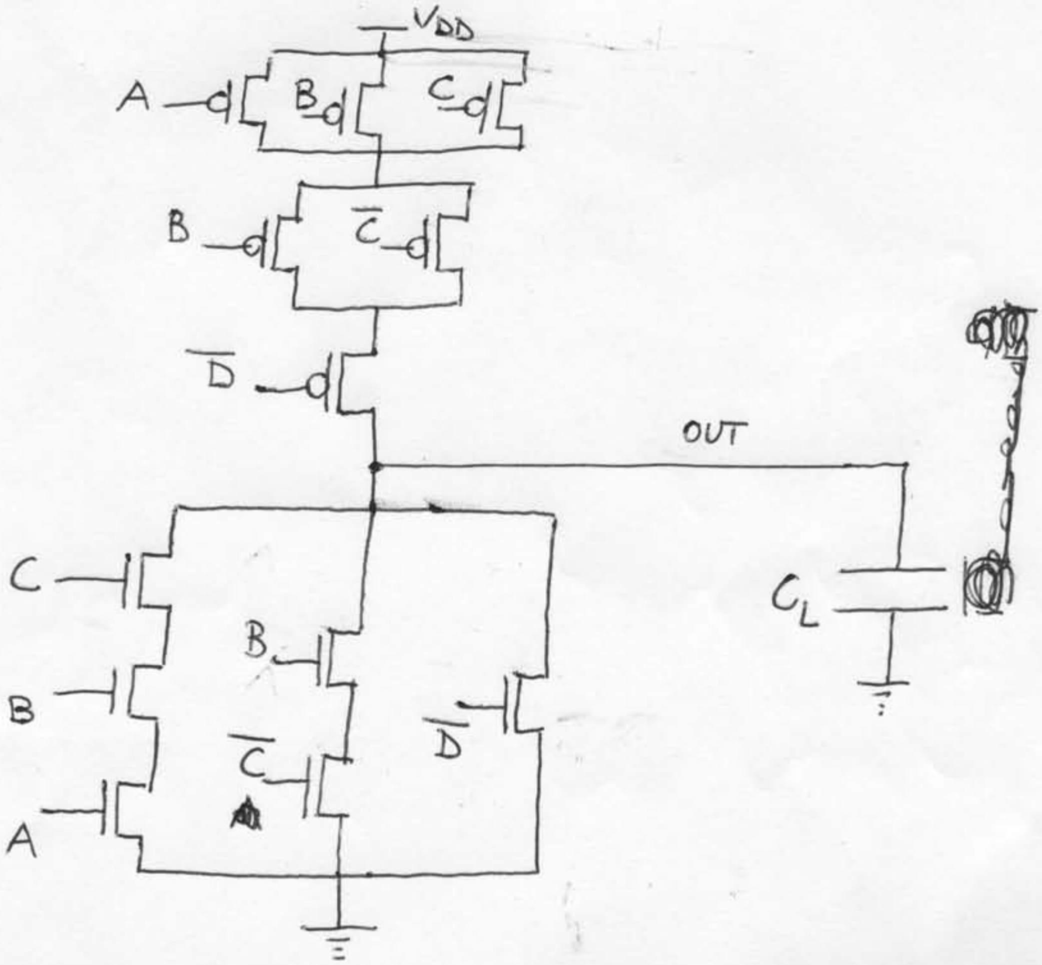
$$\overline{(\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}) \cdot (\bar{B} + C) \cdot D} = \overline{\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}} + \overline{(\bar{B} + C) \cdot D} =$$

$$= \overline{\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}} + \overline{\bar{B} + C} + \bar{D} =$$

$$= \overline{\bar{A} + \bar{B}} \cdot C + B \cdot \bar{C} + \bar{D} =$$

$$= A \cdot B \cdot C + B \cdot \bar{C} + \bar{D}$$

$$OUT = \overline{A \cdot B \cdot C + B \cdot \bar{C} + \bar{D}}$$



2) CASO PEGGIORE PULL-DOWN

$A = 1 \qquad B = 1 \qquad C = 1 \qquad D = 1$

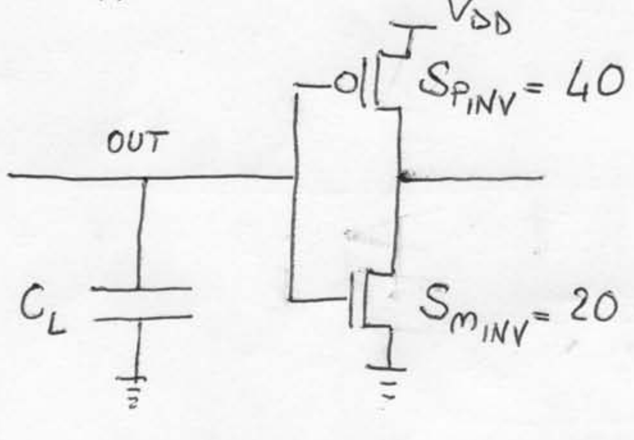
$$S_{PD} = \frac{S_m}{3}$$

CASO PEGGIORE PULL-UP

$A = 0 \qquad B = 1 \qquad C = 1 \qquad D = 1$

$$S_{PU} = \frac{S_P}{3}$$

3) $t_{r_{90\%}} = t_{f_{90\%}} = 500 \text{ ps}$



$$C_L = C_{ox} L_{min}^2 \left(S_{minv} + S_{pinv} \right) = 3{,}45 \frac{10^{-15}}{\cancel{10^{-12}}} \cdot (0{,}35)^2 \cdot \cancel{10^{-12}} \cdot 60 =$$

$$= 25{,}357 \text{ fF}$$

$$F_{m_{90\%}} = F_{p_{90\%}} = 0{,}6212$$

$$t_{f_{90\%}} = \frac{2 C_L}{\beta'_m S_{PD}} \cdot F_{m_{90\%}} = \frac{2 C_L}{\beta'_m \frac{S_m}{3}} F_{m_{90\%}} = \frac{6 C_L}{\beta'_m S_m} F_{m_{90\%}}$$

$$t_{r90\%} = \frac{2C_L}{\beta'_p S_{PU}} F_{p90\%} = \frac{6C_L}{\beta'_p S_p} F_{p90\%}$$

Quindi:

$$S_n = \frac{6\,C_L}{\beta'_n\, t_{f90\%}} F_{n90\%} = \frac{6 \cdot 25{,}357 \cdot 10^{-15}}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^{-12}} \cdot 0{,}6212 =$$

$$= \frac{6 \cdot 25{,}357 \cdot \cancel{10^{-15}}}{50 \cdot \cancel{10^{-15}}} \cdot 0{,}6212 =$$

$$= 1{,}89 \qquad S_n \simeq 2$$

$$S_p = \frac{6\,C_L}{\beta'_p\, t_{r90\%}} F_{p90\%} = 2\,S_n \qquad S_p \simeq 4$$

Si ha

$$t_{f90\%} = \frac{6 \cdot 25{,}357 \cdot 10^{-15}}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 2} \cdot 0{,}6212 = 0{,}472 \cdot 10^{-9} = 472\ ps$$

$$t_{r90\%} = \frac{6 \cdot 25{,}357 \cdot 10^{-15}}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 4} \cdot 0{,}6212 = 472\ ps$$

Utilizzando il metodo della resistenza equivalente:

$$R_{eq_{90\%}\,PD} = \frac{R_{eq_{90\%}n,\ S_n=1}}{S_{PD}} = \frac{5{,}39 \cdot 10^3}{2/3} = 8{,}085\ k\Omega$$

$$t_{f90\%} = R_{eq.90\%\,PD}\, C_L \ln(10) = 8{,}085 \cdot 10^3 \cdot 25{,}357 \cdot 10^{-15} \cdot 2{,}3026 =$$
$$= 472\ ps$$

$$R_{eq\,90\%\,PU} = \frac{R_{eq\,90\%\,p,\,S_p=1}}{S_{PU}} = \frac{10,78 \cdot 10^3}{4/3} = 8,085\ k\Omega$$

$$t_{r\,90\%} = R_{eq\,90\%\,PU} \cdot C_L\ \ln(10) = 472\ ps$$

4) CASO MIGLIORE PULL-DOWN

$A = X \quad B = 1 \quad C = 0 \quad D = 0$

$$S_{PD_{migliore}} = S_{serie\ B\ e\ \overline{C}} + S_{\overline{D}} = \frac{S_m}{2} + S_m = \frac{3}{2} S_m = 3$$

$$t_{f\,90\%\,migliore} = \frac{2\,C_L}{\beta'_m\ S_{PD_{migliore}}} \cdot F_{m\,90\%} =$$

$$= \frac{2 \cdot 25,357 \cdot 10^{-15}}{100 \cdot 10^{-6} \cdot 3} \cdot 0,6212 \simeq 105\ ps$$

$\frac{105}{472} \cdot 100 = 22,25\%$ del caso peggiore

CASO MIGLIORE PULL-UP

$A = 0 \quad B = 0 \quad C = ? \quad D = 1$

<u>CASO A</u> $A = 0 \quad B = 0 \quad C = 0 \quad D = 1$

$$S_{A\|B\|C} = 3\,S_p$$

$$\frac{1}{S_{PU}} = \frac{1}{3\,S_p} + \frac{1}{S_p} + \frac{1}{S_p} = \frac{1+3+3}{3\,S_p} \qquad S_{PU} = \frac{3}{7} S_p$$

CASO B $\quad A = 0 \quad B = 0 \quad C = 1 \quad D = 1$

$$S_{A\|B\|C} = S_{B\|\overline{C}} = 2\,S_P$$

$$\frac{1}{S_{PU}} = \frac{1}{2S_P} + \frac{1}{2S_P} + \frac{1}{S_P} = \frac{1+1+2}{2\,S_P}$$

$$S_{PU} = \frac{2}{4}\,S_P = \frac{S_P}{2} > \frac{3}{7}\,S_P$$

CASO MIGLIORE PULL - UP $\quad A = 0 \quad B = 0 \quad C = 1 \quad D = 1$

$$S_{PU} = \frac{S_P}{2} = 2$$

$$t_{r_{90\%}} = \frac{2\,C_L}{\beta'_P\,S_{PU}} \cdot F_{P90\%} = \frac{2 \cdot 25{,}357 \cdot 10^{-15}}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 2} \cdot 0{,}6212 =$$

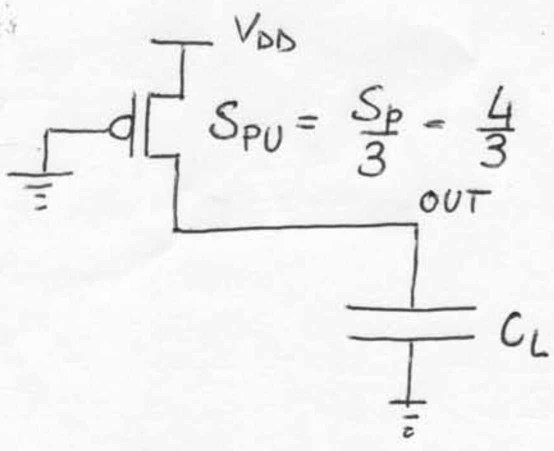
$$= 315 \text{ ps}$$

$\frac{315}{472} \cdot 100 = 66{,}73\%$ DEL CASO PEGGIORE

5) Al tempo 0 si ha la transizione

$A = 1 \quad B = 1 \quad C = 1 \quad D = 1 \longrightarrow A = 0 \quad B = 1 \quad C = 1 \quad D = 1$

con $V_{OUT}(0) = 0$



$V_{OUT}(t^*) = V_{T_n} = 0{,}7\,V$

Per $0 < t < t^* \longrightarrow$ $0 < V_{OUT} < 0{,}7\,V$

$2{,}6\,V < V_{SD_{PU}} < 3{,}3\,V$

$V_{SG_{PU}} - |V_{T_p}| = 3{,}3 - 0{,}7 = 2{,}6\,V$

SEMPRE SATURO

$$I_{SD_{PU}} = \frac{\beta_P}{2}\left(V_{SG_{PU}} - |V_{T_p}|\right)^2 = \frac{1}{2}\cdot\beta'_P \cdot S_{PU}\left(V_{DD} - |V_{T_P}|\right)^2 =$$

costante, non dipende da t

$$I_{SD_{PU}} = C_L\,\frac{dV_{OUT}}{dt} \qquad dV_{OUT} = \frac{I_{SD_{PU}}}{C_L}\,dt$$

$$dt = \frac{C_L}{I_{SD_{PU}}}\,dV_{OUT}$$

$$t^* = \frac{C_L}{I_{SD_{PU}}}\cdot\left(V_{T_n} - 0\right) = \frac{2\,C_L}{\beta'_P\,S_{PU}\cdot\left(V_{DD} - |V_{T_p}|\right)^2}\cdot V_{T_n}$$

$$= \frac{2\,C_L}{\beta'_P\,S_{PU}}\cdot\frac{V_{T_n}}{\left(V_{DD} - |V_{T_P}|\right)^2} = \frac{2\cdot 25{,}357\cdot 10^{-15}}{50\cdot 10^{-6}\cdot\frac{4}{3}}\cdot\frac{0{,}7}{(2{,}6)^2} =$$

$$= \frac{6\cdot 25{,}357\cdot 10^{-15}}{50\cdot 10^{-6}\cdot 4}\cdot\frac{0{,}7}{6{,}76} = 78{,}77\ ps$$